

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息

电工电子及电气控制 实验教程

摆玉龙 主编

赵兴龙 范满红 副主编



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



电工电子及电气控制 实验教程

摆玉龙 主编

赵兴龙 范满红 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是综合性电工电子及电气控制实验教材,以工程实际应用为出发点,以培养和提高学生工程设计、实验调试及综合分析能力为目标,优化设计了电工电子类相关基础课程实验。全书共分为3篇,即电工电子技术实验、电气控制实验、PSpice 16 仿真软件简介和相关电路设计分析实例等。全书着重介绍电工电子技术实验和电气控制实验的基本任务、基本方法和基本规程,同时介绍 PSpice 16 仿真软件和相关电路仿真分析方法,强调培养电工电气专业卓越工程师所应具备的工程意识、工程素质、工程实践能力和工程创新能力。

本书实验内容丰富,可作为高等院校电子类、电气类、通信类、自动控制类以及计算机类专业的基础实验教材,同时也可供参加各类电子竞赛和进行毕业设计的本科生参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电工电子及电气控制实验教程/摆玉龙主编. —北京:清华大学出版社,2017

(21世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-46713-7

I. ①电… II. ①摆… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 ③电气控制—高等学校—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 038681 号

责任编辑:郑寅堃 战晓雷

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:14.75

字 数:359千字

版 次:2017年7月第1版

印 次:2017年7月第1次印刷

印 数:1~1000

定 价:39.00元

产品编号:070017-01

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

为培养创新实践能力强、适应经济社会发展需要的高质量的各类型工程技术人才,教育部启动了“卓越工程师教育培养计划”。电气工程专业卓越工程师培养要将素质教育和创新教育相结合,以“宽口径、高素质、强能力、重应用”为教学实践目标,加强学生的工程意识、工程素质、工程实践能力和工程创新能力,培养具有求是创新精神和国际视野的创新型工程科技人才。电工电子技术及电气控制课程和实验在电气工程专业卓越工程师培养中起着至关重要的基础性作用,有助于提高学生的实践能力和职业技能,帮助学生形成良好的工程意识,为未来职业发展打好基础。因此,本书注重实践,突出基础训练,着重培养学生的实践应用能力和计算机仿真应用能力。在实验内容的选择上,既有基础性实验、实践应用性实验,又有 PSpice 16 仿真软件使用指导以及设计实验,较好地实现了基础训练与应用实践训练相结合,硬件设计调试与 PSpice 软件仿真设计相结合。因此,本书符合不同层次的教学要求,为学生学习后续课程、参加各类电子设计竞赛、进行毕业设计等打下了良好的基础。同时,本书也可供相关专业院校师生参考。

本书作为综合性电工电子及电气控制实验教材,参照了教育部“高等工业学校电工电子技术基础课程教学基本要求”,并结合了编者多年的教学实践经验与教学研究成果。全书共分为 3 篇。第 1 篇为电工电子技术实验,包含 27 个实验。第 2 篇为电气控制实验,包含 24 个实验。第 3 篇为 PSpice 16 仿真软件,包含 PSpice 16 仿真软件简介、仪器仪表介绍及设置方法、电路原理图绘制、电路分析方法以及实验设计等内容。

本书由摆玉龙统稿审定,其中赵兴龙编写了第 1 篇,范满红编写了第 2 篇,摆玉龙编写了第 3 篇和附录部分。马真东、陈雪雷、王娟、郭鹏飞、王一朝、陈春梅、段济开、常明恒、魏强和苏坤绘制了本书的全部插图,并做了大量的打印和校对工作。

在编写本书的过程中,编者参考了很多优秀教材和著作。编者向参考文献的各位作者表示真诚的谢意。本书的出版得到西北师范大学教学研究重大项目“西北师范大学‘卓越工程师班’培养机制研究——以电子信息工程专业为例”的大力支持,同时获得兰州市科技计划项目(编号:2015-3-34)的资助。

由于编者水平有限,加之时间仓促,错误与不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2017 年 4 月

第 1 篇 电工电子技术实验	1
实验 1.1 基本电工仪表的使用及测量误差的计算	1
实验 1.2 减小仪表测量误差的方法	5
实验 1.3 电路元件伏安特性的测绘	9
实验 1.4 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	12
实验 1.5 基尔霍夫定律的验证	14
实验 1.6 叠加原理的验证	16
实验 1.7 电压源与电流源的等效变换	18
实验 1.8 戴维南定理和诺顿定理的验证——有源二端网络等效参数的测定	21
实验 1.9 最大功率传输条件测定	25
实验 1.10 受控源 VCVS、VCCS、CCVS、CCCS 的实验研究	27
实验 1.11 典型电信号的观察与测量	31
实验 1.12 RC 一阶电路的响应测试	34
实验 1.13 二阶动态电路响应的研究	37
实验 1.14 R、L、C 元件阻抗特性的测定	39
实验 1.15 用三表法测量电路等效参数	41
实验 1.16 正弦稳态交流电路相量的研究	44
实验 1.17 RC 选频网络特性测试	48
实验 1.18 RLC 串联谐振电路的研究	50
实验 1.19 双口网络测试	53
实验 1.20 负阻抗变换器	56
实验 1.21 回转器	59
实验 1.22 互感电路测量	63
实验 1.23 单相铁心变压器特性的测试	67
实验 1.24 三相交流电路电压、电流的测量	69
实验 1.25 三相电路功率的测量	72
实验 1.26 单相电度表的校验	76
实验 1.27 功率因数及相序的测量	79
第 2 篇 电气控制实验	82
实验 2.1 三相鼠笼式异步电动机	82
实验 2.2 三相异步电动机的直接启动控制	86

实验 2.3	三相异步电动机接触器点动控制线路	89
实验 2.4	单向启动停止控制线路/异步电动机自锁控制线路	93
实验 2.5	异步电动机单向点动、启动控制电路	96
实验 2.6	按钮联锁的三相异步电动机正反转控制线路	98
实验 2.7	接触器联锁的三相异步电动机正反转控制线路	101
实验 2.8	双重联锁的三相异步电动机正反转控制线路	104
实验 2.9	正反转点动、启动控制线路	106
实验 2.10	异步电动机反接制动控制线路	109
实验 2.11	异步电动机星形、三角形控制线路	112
实验 2.12	异步电动机手动顺序启动控制线路	114
实验 2.13	异步电动机自动顺序控制线路	117
实验 2.14	异步电动机两地控制线路	119
实验 2.15	三相异步电动机串电阻降压启动手动控制	121
实验 2.16	三相异步电动机串电阻降压启动自动控制	124
实验 2.17	单相降压启动及反接制动控制线路	126
实验 2.18	三相异步电动机能耗制动控制线路	129
实验 2.19	自动往返控制线路	133
实验 2.20	带点动的自动往返控制线路	136
实验 2.21	接触器控制双速电动机的控制线路	140
实验 2.22	时间继电器控制双速电动机的控制线路	143
实验 2.23	C620-1 型车床电气的控制线路	147
实验 2.24	电动葫芦电气控制线路	151

第 3 篇 PSpice 16 仿真软件..... 157

3.1	PSpice 16 软件概述	157
3.1.1	PSpice 16 软件综述	157
3.1.2	PSpice 16 软件设计环境	158
3.1.3	执行仿真程序	161
3.1.4	如何放置元件	163
3.1.5	连线	163
3.2	二极管、三极管、场效应管的模型参数	164
3.2.1	二极管	164
3.2.2	三极管	165
3.2.3	场效应管	166
3.3	电阻、电容、电感和磁心的模型参数	168
3.3.1	电阻	168
3.3.2	电容	169
3.3.3	电感	170
3.3.4	磁心	171
3.4	压控开关和流控开关的模型参数	172

3.4.1	压控开关	172
3.4.2	流控开关	174
3.5	PSpice 中常用的电压源的设置	175
3.6	PSpice 中常用的电流源的设置	178
3.7	PSpice A/D 的基本分析: 直流分析	181
3.7.1	直流分析简述	181
3.7.2	参数说明	182
3.7.3	直流分析实例	182
3.8	PSpice A/D 的基本分析: 交流分析	184
3.8.1	交流分析简述	184
3.8.2	参数说明	184
3.8.3	交流分析实例	185
3.9	PSpice A/D 的基本分析: 瞬态分析	187
3.9.1	瞬态分析简述	187
3.9.2	参数说明	187
3.9.3	瞬态分析实例	189
3.10	PSpice A/D 的基本分析: 静态工作点分析	190
3.10.1	静态工作点分析简述	190
3.10.2	参数说明	190
3.10.3	静态工作点分析实例	191
3.11	PSpice A/D 的进阶分析: 噪声分析	192
3.12	PSpice A/D 的进阶分析: 傅里叶分析	194
3.13	PSpice A/D 的进阶分析: 参数分析	197
3.14	PSpice A/D 的进阶分析: 温度分析	201
3.15	PSpice A/D 的高级分析: 蒙特卡罗分析	203
3.16	PSpice A/D 的高级分析: 最坏情况分析	205
3.17	数字电路的基本分析方法	207
3.18	数字信号源的设置	208
3.19	数字仿真的最坏情况分析	211
3.20	PSpice 提供的测量函数和自定义测量函数	212
附录 A	常用电气元件功能介绍	215
A.1	保护、隔离元件	215
A.2	控制元件	216
A.3	检测类元件	217
A.4	驱动器及 PLC 系统	217
A.5	其他元件	219
附录 B	常用电气元件符号	221
参考文献		225

第 1 篇

电工电子技术实验

实验 1.1 基本电工仪表的使用及测量误差的计算

一、实验目的

- (1) 熟悉实验台上各类电源及各类测量仪表的布局和使用方法。
- (2) 掌握指针式电压表、电流表内阻的测量方法。
- (3) 熟悉电工仪表测量误差的计算方法。

二、实验原理

为了准确地测量电路中实际的电压和电流,必须保证仪表接入电路后不会改变被测电路的工作状态。理论上,这就要求电压表的内阻为无穷大,电流表的内阻为零。而实际使用的指针式电工仪表都不能满足上述要求。因此,测量仪表一旦接入电路,就会改变电路原有的工作状态,这就导致仪表的读数与电路原有的实际值之间出现误差。误差的大小与仪表本身内阻的大小密切相关。只要测出仪表的内阻,即可计算出由其产生的测量误差。以下介绍几种测量指针式仪表内阻的方法。

1. 用“分流法”测量电流表的内阻

电流表内阻测量电路如图 1.1.1 所示。 A 为被测内阻(R_A)的直流电流表。测量时先断开开关 S , 调节电流源的输出电流 I , 使 A 表指针满偏转。然后合上开关 S , 并保持 I 值不变, 调节电阻箱 R_B 的阻值, 使电流表的指针指在 $1/2$ 满偏转位置, 此时有 $I_A = I_S = I/2$, 所以 $R_A = R_B // R_1$, R_1 为固定电阻器之值, R_B 可由电阻箱的刻度盘上读得。

2. 用分压法测量电压表的内阻

电压表内阻测量电路如图 1.1.2 所示。 V 为被测内阻(R_V)的电压表。测量时先将开关 S 闭合, 调节直流稳压电源的输出电压, 使电压表 V 的指针为满偏转。然后断开开关 S , 调节 R_B 使电压表 V 的指示值减半。此时有 $R_V = R_B + R_1$ 。

电压表的灵敏度为 $S = R_V / U (\Omega/V)$ 。式中 U 为电压表满偏时的电压值。

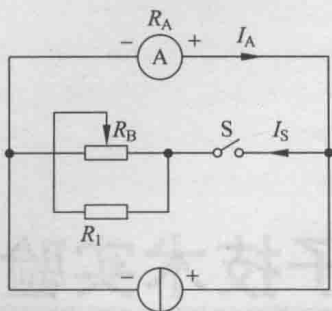


图 1.1.1 电流表内阻测量电路

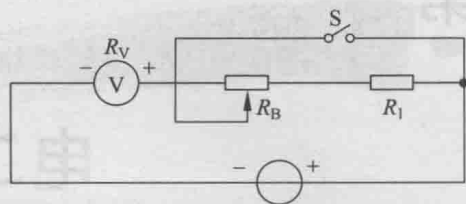


图 1.1.2 电压表内阻测量电路

3. 仪表内阻引起的测量误差的计算

仪表内阻引起的测量误差通常称为方法误差，而仪表本身结构引起的误差称为仪表基本误差。

(1) 以图 1.1.3 所示的仪表内阻误差测量电路为例， R_1 上的电压为

$$U_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$

若 $R_1 = R_2$ ，则 $U_{R_1} = U/2$ 。现用一内阻为 R_V 的电压表来测量 U_{R_1} 值，当 R_V 与 R_1 并联后得

$$R_{AB} = \frac{R_V R_1}{R_V + R_1}$$

以此来替上式中的 R_1 ，则得

$$U'_{R_1} = \frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} U$$

绝对误差为

$$\Delta U = U'_{R_1} - U_{R_1} = U \left[\frac{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1}}{\frac{R_V R_1}{R_V + R_1} + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right]$$

化简后得

$$U = \frac{-R_1^2 R_2 U}{R_V (R_1^2 + 2R_1 R_2 + R_2^2) + R_1 R_2 (R_1 + R_2)}$$

若 $R_1 = R_2 = R_V$ ， $\Delta U = -\frac{U}{6}$ ，则相对误差为

$$\Delta U\% = \frac{U'_{R_1} - U_{R_1}}{U_{R_1}} \times 100\% = \frac{-U/6}{U/2} \times 100\% = -33.3\%$$

由此可见，当电压表的内阻与被测电路的电阻相近时，测量的误差是非常大的。

(2) 伏安法测量电阻的原理为：测出流过被测电阻 R_X 的电流 I_R 及其两端的电压降 U_R ，则其阻值 $R_X = U_R / I_R$ 。实际测量时，相对于电源而言有两种测量线路：① 电流表 A (内

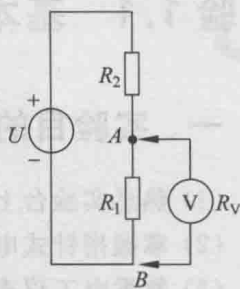


图 1.1.3 仪表内阻误差测量电路

阻为 R_A)接在电压表 V (内阻为 R_V)的内侧;②电流表 A 接在电压表 V 的外侧。两种线路见图 1.1.4。

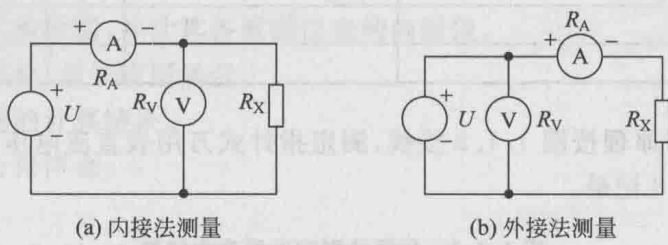


图 1.1.4 伏安法测量电阻实例

由图 1.1.4(a)的线路可知,只有当 $R_x \ll R_V$ 时, R_V 的分流作用才可忽略不计,电流表 A 的读数接近实际流过 R_x 的电流值。图 1.1.4(a)的接法称为电流表的内接法。

由图 1.1.4(b)的线路可知,只有当 $R_x \gg R_A$ 时, R_A 的分压作用才可忽略不计,电压表 V 的读数接近 R_x 两端的电压值。图 1.1.4(b)的接法称为电流表的外接法。

实际应用时,应根据不同情况选用合适的测量线路,才能获得较准确的测量结果。以下举一个实例。

在图 1.1.4(a)、(b)中,设 $U=20\text{V}$, $R_A=100\Omega$, $R_V=20\text{k}\Omega$ 。假定 R_x 的实际值为 $10\text{k}\Omega$ 。如果采用图 1.1.4(a)的线路测量,经计算, A 、 V 的读数分别为 2.96mA 和 19.73V ,故 $R_x=19.76\div 2.96=6.667(\text{k}\Omega)$,相对误差为 $(6.667-10)\div 10\times 100=-33.3(\%)$ 。

如果采用图 1.1.4(b)的线路测量,经计算, A 、 V 的读数分 1.98mA 和 20V ,故 $R_x=20\div 1.98=10.1(\text{k}\Omega)$,相对误差为 $(10.1-10)\div 10\times 100=1\%$ 。

三、实验设备

实验设备如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0~30V	二路	
2	可调恒流源	0~200mA	1	
3	指针式万用表	MF-47 或其他	1	自备
4	可调电阻箱	0~9999.9Ω	1	DGJ-05
5	电阻器	按需选择		DGJ-05

四、实验内容

(1) 根据分流法原理测定指针式万用表(MF-47 型或其他型号)直流电流 0.5mA 和 5mA 挡量程的内阻。线路如图 1.1.1 所示。 R_B 可选用 DGJ-05 中的电阻箱(下同),用表 1.1.2 记录。

表 1.1.2 分流法测定电流表内阻值

被测电流表量程/ mA	S 断开时的表读数/ mA	S 闭合时的表读数/ mA	R_B/Ω	R_1/Ω	计算内阻 R_A/Ω
0.5					
5					

(2) 根据分压法原理按图 1.1.2 接线,测定指针式万用表直流电压 2.5V 和 10V 挡量程的内阻,用表 1.1.3 记录。

表 1.1.3 分压法测定电压表内阻值

被测电流表 量程/ mA	S 断开时的 表读数/ mA	S 闭合时的 表读数/ mA	R_B/Ω	R_1/Ω	计算内阻 R_A/Ω	$S/(\Omega/\text{V})$
0.5						
5						

(3) 用指针式万用表直流电压 10V 挡量程测量图 1.1.3 电路中 R_1 上的电压 U'_{R_1} 之值,并计算测量的绝对误差与相对误差,用表 1.1.4 记录。

表 1.1.4 仪表内阻引起的测量误差值

U/V	R_2/Ω	R_1/Ω	$R_{10\text{V}}/\text{k}\Omega$	计算值 U_{R_1}/V	实测值 U'_{R_1}/V	绝对误差 $\Delta U/\text{V}$	相对误差 $(\Delta U/U) \times 100\%$
12							

五、实验注意事项

(1) 在开启 DG04 挂箱的电源开关前,应将两路电压源的输出调节旋钮调至最小(逆时针旋到底),并将恒流源的输出粗调旋钮拨到 2mA 挡,输出细调旋钮应调至最小。接通电源后,再根据需要缓慢调节。

(2) 当恒流源输出端接有负载时,如果需要将其粗调旋钮由低挡位向高档位切换时,必须先将其细调旋钮调至最小。否则输出电流会突增,可能会损坏外接器件。

(3) 电压表应与被测电路并联,电流表应与被测电路串联,并且都要注意正、负极性与量程的合理选择。

(4) 实验内容(1)、(2)中, R_1 的取值应与 R_B 相近。

(5) 本实验仅测试指针式仪表的内阻。由于所选指针表的型号不同,本实验中所列的电流、电压量程及选用的 R_B 、 R_1 等均会不同。实验时应按选定的表型自行确定。

六、预习思考题

(1) 根据实验内容(1)和(2),若已求出 0.5mA 挡和 2.5V 挡的内阻,可否直接计算得出 5mA 挡和 10V 挡的内阻?

(2) 用量程为 10A 的电流表测实际值为 8A 的电流时,实际读数为 8.1A,求测量的绝对误差和相对误差。

七、实验报告

- (1) 列表记录实验数据,并计算各被测仪表的内阻值。
- (2) 分析实验结果,总结应用场合。
- (3) 给出思考题的计算结果。
- (4) 写出实验心得体会。

实验 1.2 减小仪表测量误差的方法

一、实验目的

- (1) 进一步了解电压表、电流表的内阻在测量过程中产生的误差及其分析方法。
- (2) 掌握减小因仪表内阻所引起的测量误差的方法。

二、实验原理

减小因仪表内阻而产生的测量误差的方法有两种。

1. 不同量限两次测量计算法

当电压表的灵敏度不够高或电流表的内阻太大时,可利用多量限仪表对同一被测量用不同量限进行两次测量,用所得读数经计算后可得到较准确的结果。

电压表不同量限两次测量法电路如图 1.2.1 所示,欲测量具有较大内阻 R_0 的电动势 U_s 的开路电压 U 。时,如果所用电压表的内阻 R_v 与 R_0 相差不大,将会产生很大的测量误差。

设电压表有两挡量限, U_1 、 U_2 分别为在这两个不同量限下测得的电压值,令 R_{v1} 和 R_{v2} 分别为这两个相应量限的内阻,则由图 1.2.1 可得出

$$U_1 = \frac{R_{v1}}{R_0 + R_{v1}} U_s \quad U_2 = \frac{R_{v2}}{R_0 + R_{v2}} U_s$$

由以上两式可解得 U_s 和 R_0 。其中 U_s (即 U_0) 为

$$U_s = \frac{U_1 U_2 (R_{v2} - R_{v1})}{U_1 R_{v2} - U_2 R_{v1}}$$

由此式可知,当电源内阻 R_0 与电压表的内阻 R_v 相差不大时,通过上述的两次测量结果,即可计算出开路电压 U_0 的大小,且其准确度要比单次测量好得多。

对于电流表,当其内阻较大时,也可用类似的方法测得较准确的结果。电流表不同量限两次测量法电路如图 1.2.2 所示,不接入电流表时的电流为 $I = U_s / R$,接入内阻为 R_A 的电流表 A 时,电路中的电流变为

$$I' = \frac{U_s}{R + R_A}$$

如果 $R_A = R$,则 $I' = I/2$,出现很大的误差。

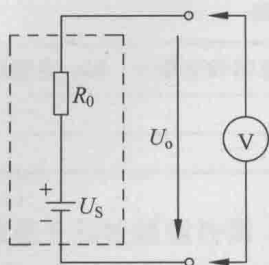


图 1.2.1 电压表不同量限测量电路

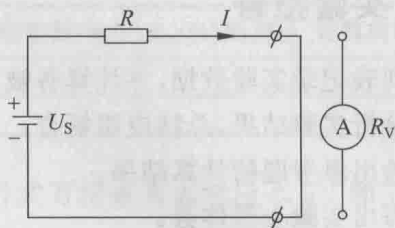


图 1.2.2 电流表不同量限测量电路

如果用有不同内阻 R_{A1} 、 R_{A2} 的两挡量限的电流表作两次测量,再经简单的计算,就可得到较准确的电流值。

按图 1.2.2 所示的电路,两次测量得

$$I_1 = \frac{U_s}{R + R_{A1}} \quad I_2 = \frac{U_s}{R + R_{A2}}$$

由以上两式可解得 U_s 和 R ,进而可得

$$I = \frac{U_s}{R} = \frac{I_1 I_2 (R_{A1} - R_{A2})}{I_1 R_{A1} - I_2 R_{A2}}$$

2. 同一量限两次测量算法

如果电压表(或电流表)只有一挡量限,且电压表的内阻较小(或电流表的内阻较大),可用同一量限两次测量法减小测量误差。其中,第一次测量与一般的测量并无两样。第二次测量时必须在电路中串入一个已知阻值的附加电阻。

(1) 电压测量。用同一量限两次测量法以电压表测量如图 1.2.3 所示电路的开路电压 U_o 。

设电压表的内阻为 R_v 。第一次测量电压表的读数为 U_1 。第二次测量时应与电压表串接一个已知阻值的电阻器 R ,电压表读数为 U_2 。由图 1.2.3 可知:

$$U_1 = \frac{R_v U_s}{R_0 + R_v} \quad U_2 = \frac{R_v U_s}{R_0 + R + R_v}$$

由以上两式可解得 U_s 和 R_o ,其中 U_s (即 U_o)为

$$U_s = U_o = \frac{R U_1 U_2}{R_0 (U_1 - U_2)}$$

(2) 电流测量。用同一量限两次测量法以电流表测量如图 1.2.4 所示电路的电流 I 。

设电流表的内阻为 R_A 。第一次测量电流表的读数为 I_1 。第二次测量时应与电流表串接一个已知阻值的电阻器 R ,电流表读数为 I_2 。由图 1.2.4 可知:

$$I_1 = \frac{U_s}{R_0 + R_A} \quad I_2 = \frac{U_s}{R_0 + R_A + R}$$

由以上两式可解得 U_s 和 R_o ,从而可得

$$I = \frac{U_s}{R_0} = \frac{I_1 I_2 R}{I_2 (R_A + R) - I_1 R_A}$$

由以上分析可知,当所用仪表的内阻与被测线路的电阻相差不大时,采用多量限仪表不

同量限两次测量法或单量限仪表两次测量法,通过计算就可得到比单次测量准确得多的结果。

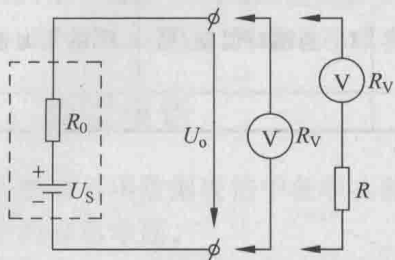


图 1.2.3 电压表同一量限两次测量法电路

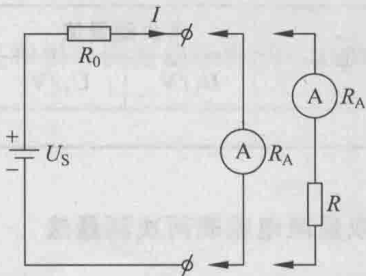


图 1.2.4 电流表同一量限两次测量法电路

三、实验设备

实验设备如表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 实验设备

序号	名 称	型号与规格	数量	备注
1	可调直流稳压电源	0~30V	二路	
2	可调恒流源	0~200mA	1	
3	指针式万用表	MF-47 或其他	1	自备
4	可调电阻箱	0~9999.9Ω	1	DGJ-05
5	电阻器	按需选择		DGJ-05

四、实验内容

1. 双量限电压表两次测量法

按图 1.2.3 所示的电路,实验中利用实验台上或 DG04 挂箱的一路直流稳压电源,取 $U_s=2.5V$, R_0 选用 $50k\Omega$ (取自电阻箱)。用指针式万用表的直流电压 2.5V 和 10V 两挡量限进行两次测量,最后算出开路电压的值,记录在表 1.2.2 中。

表 1.2.2 双量限电压表两次测量法测误差值

万用表电压量限/V	内阻值/kΩ	两个量限的测量值 U/V	电路计算值 U_0/V	两次测量计算值 U'/V	U 的相对误差/%	U'_0 的相对误差/%
2.5						
10						

$R_{2.5V}$ 和 R_{10V} 参照实验 1.1 的结果。

2. 单量限电压表两次测量法

实验线路同上。先用上述万用表直流电压 2.5V 量限挡直接测量,得 U_1 。然后串接

$R=10\text{k}\Omega$ 的附加电阻器再一次测量得 U_2 。计算开路电压 U'_0 之值,记录在表 1.2.3 中。

表 1.2.3 单量限电压表两次测量法测误差值

实际计算值 U_0/V	两次测量值		测量计算值 U'_0/V	U_1 的相对误差/%	U'_0 的相对误差/%
	U_1/V	U_2/V			

3. 双量限电流表两次测量法

按图 1.2.2 所示的线路进行实验, $U_s=0.3\text{V}$, $R=300\Omega$ (取自电阻箱),用万用表 0.5mA 和 5mA 两挡电流量限进行两次测量,计算出电路的电流值 I' ,记录在表 1.2.4 中。

表 1.2.4 双量限电流表两次测量法测量误差

万用表电流量限/mA	内阻值/ Ω	两个量限的测量值 I_1/mA	电路计算值 I/mA	两次测量计算值 I'/mA	I_1 的相对误差/%	I' 的相对误差/%
0.5						
5						

$R_{0.5\text{mA}}$ 和 $R_{5\text{mA}}$ 参照实验 1.1 的结果。

4. 单量限电流表两次测量法

实验线路同第 3 步。先用万用表 0.5mA 电流量限直接测量得 I_1 。再串联附加电阻 $R=30\Omega$ 进行第二次测量得 I_2 。求出电路中的实际电流 I' 之值,记录在表 1.2.5 中。

表 1.2.5 单量限电流表两次测量法测量误差

实际计算值 I/mA	两次测量值		测量计算值 I'/mA	I_1 的相对误差/%	I' 的相对误差/%
	I_1/mA	I_2/mA			

五、实验注意事项

- (1) 同实验 1.1。
- (2) 采用不同量限两次测量法时,应选用相邻的两个量限,且被测值应接近于低量限的满偏值。否则,当用高量限测量较低的被测值时,测量误差会较大。
- (3) 实验中所用的 MF-47 型万用表属于较精确的仪表。在大多数情况下,直接测量误差不会太大。只有当被测电压源的内阻 $>1/5$ 电压表内阻或者被测电流源内阻 <5 倍电流表内阻时,采用本实验的测量、计算法才能得到较满意的结果。

六、思考题

- (1) 根据已知表头的参数(1mA、160 Ω),计算出组成 1V、10V 电压表的倍压电阻和